

# OPTICAL SYSTEM AND OBJECT INSPECTING METHOD USING THE SAME

Publication number: JP10104171

Publication date: 1998-04-24

Inventor: NUSS MARTIN C

Applicant: LUCENT TECHNOLOGIES INC

Classification:

- International: G01D5/26; G01J3/28; G01N21/35; G01N22/00;  
G01N22/02; H01Q3/26; H01Q9/28; H01S1/02;  
G01D5/26; G01J3/28; G01N21/31; G01N22/00;  
H01Q3/26; H01Q9/04; H01S1/00; (IPC1-7): G01N22/02;  
G01D5/26; G01N21/35; G01N22/00

- European: G01J3/42; H01Q3/26G; H01Q9/28B

Application number: JP19970243654 19970909

Priority number(s): US19960711146 19960909

Also published as:



EP0828143 (A2)



US5789750 (A1)

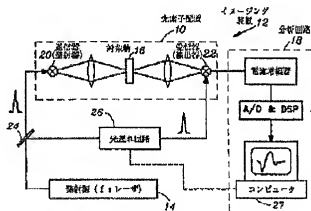


EP0828143 (A3)

Report a data error here

## Abstract of JP10104171

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain the parallel beams without curving of the wave front by providing an optical element for collimating the emitted radiation within a specified frequency range into a beam with diameter independent of the frequency and has no curving of the wave front, a beam detector and the like. **SOLUTION:** An imaging device 12 comprises a light emitting source of repeating optical pulses for a specified time length, an optical-element arrangement, which forms the radiation wave of THZ (tera hertz) and detects the reflected radiation wave transmitted through the medium of an object 16 or reflected by this medium, and an analyzing circuit 18. The optical-element arrangement 10 comprises a THZ wave transmitter 20, whose gate is optically controlled, and a THZ wave detector 22. A variable optical delay circuit 26 changes the optical delay between respective processing pulses controlled by a computer 27. A dipole antenna is used for constructing both of the THZ wave transmitter 20 and the THZ wave detector 22. A substrate lens advances the coupling into the free space and the collimating process of the electromagnetic radiation wave.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



**Family list**4 family members for: **JP10104171**

Derived from 3 applications

[Back to JP1010](#)

- 1 Optical system employing terahertz radiation**  
**Inventor:** NUSS MARTIN C (US) **Applicant:** LUCENT TECHNOLOGIES INC (US)  
**EC:** G01J3/42; H01Q3/26G; (+1) **IPC:** *G01D5/26; G01J3/28; G01N21/35* (+16)  
**Publication info:** **EP0828143 A2** - 1998-03-11  
**EP0828143 A3** - 1998-08-26
- 2 OPTICAL SYSTEM AND OBJECT INSPECTING METHOD USING THE SAME**  
**Inventor:** NUSS MARTIN C **Applicant:** LUCENT TECHNOLOGIES INC  
**EC:** G01J3/42; H01Q3/26G; (+1) **IPC:** *G01D5/26; G01J3/28; G01N21/35* (+16)  
**Publication info:** **JP10104171 A** - 1998-04-24
- 3 Optical system employing terahertz radiation**  
**Inventor:** NUSS MARTIN C (US) **Applicant:** LUCENT TECHNOLOGIES INC (US)  
**EC:** G01J3/42; H01Q3/26G; (+1) **IPC:** *G01D5/26; G01J3/28; G01N21/35* (+14)  
**Publication info:** **US5789750 A** - 1998-08-04

---

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

特開平10-104171

(43) 公開日 平成10年(1998) 4月24日

(51) Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	P I	
G 0 1 N 22/02		G 0 1 N 22/02	C
G 0 1 D 5/26		G 0 1 D 5/26	H
G 0 1 N 21/35		G 0 1 N 21/35	Z
22/00		22/00	S

(21) 出願番号	特願平9-243654	(71) 出願人	596077259 ルーセント テクノロジーズ インコーポ レイテッド Lucent Technologies Inc. アメリカ合衆国 07974 ニュージャージ ー、マレーヒル、マウンテン アベニュー 600-700
(22) 出願日	平成 9 年(1997) 9 月 9 日	(72) 発明者	マーティン シー、ナス アメリカ合衆国、07704 ニュージャージ ー、フェア ヘブ、リンカーン アベニ ュー 148
(31) 優先権主張番号	0 8 / 7 1 1 1 4 6	(74) 代理人	弁理士 三橋 弘文
(32) 優先日	1996 年 9 月 9 日		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

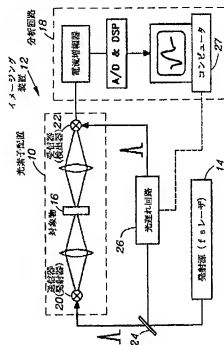
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光システム及びこれによる対象物調査方法

## (57) 【要約】

【課題】 改善された空間解像度を有する T H z 輻射波光システムの提供。

【解決手段】 本発明の一実施例に基づいて構築された光システム 10' が、100 GHz ~ 20 THz の周波数範囲において輻射波を放射するための発射源と；同発射源によって放射された輻射波を自由空間内へ結合するための結合用レンズ構造であって結合輻射波の波長が結合用レンズ構造の出口ひとみにおけるビーム直径の 1 / 100 より大きいような結合用レンズ構造を有する発信器 20 と；受信された結合輻射波を、ビーム直径が周波数にほぼ無関係であり波面の湾曲がほぼないビーム、にコリメートするための少なくとも 1 個のコリメート用光素子 40 と；同少なくとも 1 個のコリメート用光素子 40 によってコリメートされたビームを検出器 22 に向向するための集束用光素子 42 と；指向されたビームを検出するための検出器 22 と；からなる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 100GHz～20THzの周波数範囲において輻射波を放射するための放射源と；該放射源によって放射された輻射波を自由空間内へ結合するための結合用レンズ構造であって、結合輻射波の波長が該結合用レンズ構造の出口ひとみにおけるビーム直径の1/10より大きいような、結合用レンズ構造と；受信された結合輻射波を、ビーム直径が周波数にほぼ無関係であり且つ波面の湾曲がほぼないビームにコリメートするための少なくとも1個のコリメート用光素子と；該少なくとも1個のコリメート用光素子によってコリメートされたビームを検出するための検出器と；からなることを特徴とする、THz輻射波を用いる光システム。

【請求項2】 100GHz～20THzの周波数範囲において輻射波を放射するための放射源と；該放射源によって放射された輻射波を自由空間内へ結合するための第1の結合用レンズ構造と；受信された結合輻射波を、限定回折集束スポット上へ集束させるための、少なくとも1個の光素子と、該少なくとも1個の光素子によって集束された輻射波を検出するための検出器と；からなることを特徴とする、THz輻射波を用いる光システム。

【請求項3】 前記放射源が、基板の第1の表面上に形成されたダイポール放射器を有し、前記結合用レンズ構造が、該基板の第2の表面上に形成された基板レンズを有し、該基板レンズが、その中心を通り且つ該ダイポール放射器と交差する光軸を有する、ことを特徴とする請求項1又は請求項2の光システム。

【請求項4】 前記基板レンズが短半球形の形状を有し、前記基板レンズの中心と前記基板の前記第1の表面とが隔離され、該隔離距離が、前記ダイポール放射器を有する前記放射源のダイポール輻射角内で放射されたほぼ全ての光線の、自由空間インタフェース部への前記基板レンズにおける入射角が、総内部反射に対する臨界角より小さくなるような距離である、ことを特徴とする請求項3の光システム。

【請求項5】 前記検出器がダイポール受信器を有することを特徴とする請求項3の光システム。

【請求項6】 前記結合用レンズ構造が第1の結合用レンズ構造であり、前記検出器が更に、第2の結合用レンズ構造と；コリメートされた輻射波を該第2の結合用レンズ構造内へ集束するための集中用光素子と；を有し、該第2の結合用レンズ構造が、該集中された輻射波を自由空間から前記ダイポール受信器へ結合するように作動することを特徴とする請求項1の光システム。

【請求項7】 前記検出器が電気光学受信器を有することを特徴とする請求項1の光システム。

【請求項8】 前記少なくとも1個のコリメート用光素子が、コリメートされた輻射波を調査対象の媒質に指向するような寸法及び配置を有し、

前記検出器が、前記少なくとも1個のコリメート用光素子に関して、該媒質を通して透過されるコリメートされた輻射波を受信するように、配置される、ことを特徴とする請求項1の光システム。

【請求項9】 前記少なくとも1個のコリメート用光素子が、コリメートされた輻射波を検討対象の媒質へ向けられるような寸法及び配置を有し、

前記検出器が、前記少なくとも1個のコリメート用光素子に関して、前記媒質によって反射されるコリメートされた輻射波を受信するように、配置される、ことを特徴とする請求項1の光システム。

【請求項10】 前記結合用レンズ構造が第1の結合用レンズ構造であり、

前記検出器が更に、第2の結合用レンズ構造と；限定回折集束スポット上へ集束された輻射波を該第2の結合用レンズ構造へ指向するための少なくとも1個の集束用光素子と；を有し、該第2の結合用レンズ構造が、該指向された輻射波を自由空間から前記ダイポール受信器へ結合するように作動することを特徴とする請求項5の光システム。

【請求項11】 前記少なくとも1個のコリメート用光素子が、輻射波を検討対象の媒質内の限定回折集束スポット上へ集束させる動作を行うように配置され、前記検出器が、該限定回折集束スポット上へ集束された該媒質を通して透過された輻射波を受信する動作を行うように配置される、ことを特徴とする請求項9の光システム。

【請求項12】 前記少なくとも1個のコリメート用光素子が、輻射波を検討対象の媒質内の限定回折集束スポット上へ集束させる動作を行うように配置され、前記検出器が、該限定回折集束スポット上へ集束された該媒質によって反射された輻射波を受信する動作を行うように配置される、ことを特徴とする請求項9の光システム。

【請求項13】 THz光システムで用いられるレンズ配置であって、該レンズ配置が、放射源によって100GHz～20THzの周波数範囲で放射された輻射波を自由空間内へ結合するための第1の結合用レンズ構造と、受信された結合輻射波を、ビーム直径が周波数にほぼ無関係であり且つ波面湾曲をほぼ持たないビームにコリメートするための少なくとも1個のコリメート用光素子と；からなり、該放射された輻射波の波長が該結合用レンズ構造の出口ひとみにおけるビーム直径の1/10より大きい、ことを特徴とする、THz光システムで用いられるレンズ配置。

【請求項14】 前記結合用レンズ構造が第1の結合用レンズ構造であり、

前記レンズ配置が更に、

第2の結合用レンズ構造と；コリメートされた輻射波を該第2の結合用レンズ構造内へ集束するための集中用光素子と；を有し、

該第2の結合用レンズ構造が、該集中された輻射波を自由空間から受信器へ結合する動作を行うように配置されることを特徴とする請求項13の配置。

【請求項15】 THz光システムで用いられるレンズ配置であって、該レンズ配置が、

発射源によって100GHz～20THzの周波数範囲において発射された輻射波を自由空間内へ結合するための第1の結合用レンズ構造と；受信された結合輻射波を、限定回折集束スポット上へ集束させるための、少なくとも1個の光素子と；からなることを特徴とする、THz光システムで用いられるレンズ配置。

【請求項16】 前記結合用レンズ構造が、基板の第1の表面上に形成された基板レンズを有することを特徴とする、請求項13又は請求項15の配置。

【請求項17】 前記基板レンズが、超半球形の形状を有し、前記基板レンズの中心と前記基板の前記第1の表面とが、前記基板レンズの半径を前記基板レンズの屈折率で除した値よりも大きくない距離だけ隔離されていることを特徴とする請求項16の配置。

【請求項18】 前記基板レンズが半球面収差であることを特徴とする請求項17の配置。

【請求項19】 前記基板レンズが半球であることを特徴とする請求項16の配置。

【請求項20】 前記結合用レンズ構造が第1の結合用レンズ構造であり、前記レンズ配置が更に、

第2の結合用レンズ構造と；限定回折集束スポット上へ集束された輻射波を該第2の結合用レンズ構造へ指向するための少なくとも1個の集束用光素子と；を有し、該第2の結合用レンズ構造が、該指向された輻射波を自由空間から受信器へ結合する動作を行うように配置されることを特徴とする請求項15の配置。

【請求項21】 発射源によって100GHz～20THzの周波数範囲で発射された輻射波を用いて対象物を調査する方法であって、該方法が、

該発射源によって発射された輻射波を、第1の結合用レンズ構造を用いて、結合輻射波の波長が該第1の結合用レンズ構造の出口ひとみにおけるビーム直径の1/10より大きくないように、結合するステップと；受信された結合輻射波を、ビーム直径が周波数にほぼ無関係であり且つ波面湾曲をほぼ持たないビームにコリメートするステップと；コリメートされた輻射波を、調査対象の媒質に指向するステップと；該指向ステップの間に該媒質によって反射された輻射波及び該媒質を通して透過さ

れた輻射波の1つを検出するステップと；からなることを特徴とする、輻射波を用いて対象物を調査する方法。

【請求項22】 発射源によって100GHz～20THzの周波数範囲で発射された輻射波を用いて対象物を調査する方法であって、

該方法が、

該発射源によって発射された輻射波を、第1の結合用レンズ構造を用いて、自由空間内へ結合するステップと；受信された結合輻射波を、調査対象の媒質に連関する限定回折集束スポット上へ集束するステップと；該集束ステップの間に該媒質によって反射された輻射波及び該媒質を通して透過された輻射波の1つを検出するステップと；からなることを特徴とする、輻射波を用いて対象物を調査する方法。

【請求項23】 前記基板レンズが、超半球形の形状を有し、前記基板レンズの中心と前記基板の前記第1の表面とが、前記基板レンズの半径を前記基板レンズの屈折率で除した値よりも大きくない距離だけ隔離されていることを特徴とする請求項3の光システム。

【請求項24】 前記基板レンズが半球面収差であることを特徴とする請求項23の光システム。

【請求項25】 前記基板レンズが半球であることを特徴とする請求項3の光システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、概して電磁波スペクトルのTHz（テラヘルツ）又は遠赤外線領域の、反射され又は透過された輻射波を用いて種々の媒質すなわち対象物（オブジェクト）を調査するシステム及び方法に関し、詳しくはこのようなシステムにおいて輻射波をガイドして集束（フォーカス）するための配置に関する。

【0002】

【従来の技術】電磁波スペクトルのTHz又は遠赤外線領域は独特の特徴を有する。例えば、THz波は、紙、厚紙、プラスチック、及び適度の厚さの多くの誘電体、のような大抵の非金属の対象物を容易に貫通するが、有機性材料及び液体には吸収される。半導体内のキャリアはこの領域において強い誘電性反応を示すが、金属はTHz輻射波に対しては完全に不伝導性である。水蒸気、アンモニア、塩素、等の有機性気体はスペクトルのこの領域に、強いそして非常に特徴ある吸収線を有する。

【0003】その結果、スペクトルのTHz領域は、気体の遠隔探索、プラスチック及び複合材料の品質管理、パッケージ検査、及び水分分析のような用途にますます重要になりつつある。これらの特徴は、THz周波数領域における結像処理（イメージング）にも用いることができる【文獻：Nuss, IEEE Circuits and Devices, March 1996参照】。

【0004】加えて、THz周波数領域は、分光学の分

野においても相当な関心を持たれている。例えば、半導体及び金属の電子的性質は、その状態のエネルギーがTHzの光子(フォトン)に共鳴するような束縛状態(例:励起子及びクーパー対)から大いに影響を受ける。

【0005】THz周波数領域は又、トンネル掘削や準粒子散乱のような、固体内での非弾性プロセスの処理速度(レート)とも一致する。更に別の例として、量子井戸のような人工的に合成された微細構造における閉じこめエネルギーはTHz周波数領域内にある。

【0006】その潜在能力に拘わらず、適切なツールがないために、分光学及びイメージングへのTHz電磁信号の使用が妨げられてきた。例えば、ミリ波及びサブミリ波用の掃引周波数方式の周波数合成器は概略100GHzよりも低い範囲に周波数が制限されるため、これより高い周波数を得るには個別の周波数源を用いるしかなかった。

【0007】他方、フーリエ変換赤外線分光学(FTR)では、非コヒーレント光源の輝度不足からTHz電磁信号の使用が妨げられた。加えて、FTRの方法は、もし応答関数の実数部分と虚数部分を各周波数ごとに測定する必要がある場合には、有用ではない。

【0008】最後に、電磁波のTHz範囲を用いる実時間イメージングは、この周波数範囲での検出器の感度が悪いために可能となっていない。

【0009】上記の不具合を克服した新しい分光学的イメージング手法が、米国特許出願第08/388,933 (Title: "Method and Apparatus for Terahertz Imaging") (本願の出願人と同一の出願人Lucent Technologies)に開示されている。ここに同出願全体を本出願の参考文献とする。同文獻のTHz ("T-ray") 手法は、超短レーザーパルス(すなわち数フェムト秒(fs)台以下)の助けを得て光学電子的に生成された電磁波現象(過渡電磁波)に基づくものである。

【0010】これらのTHz過渡電磁波は、一般に1ピコ秒(ps)よりも短い時間長さで生成された単周期パルスである。これらのパルスのスペクトル密度は一般に、100GHzよりも下から5THzよりも上までの範囲にわたる。光学的にゲート制御された検出を行うことによって、1psの数分の1の時間解像度でのTHz電界の直接測定が可能となる【文獻:Smith et al., IEEE E. J. Quantum Electr., vol. 24, 255-260, 1988】。

【0011】この測定から、固体、液体、又は気体の組成物である媒質、の誘電率関数の実数部分及び虚数部分の両方が急速且つ簡単な仕方で導出される。更に、これらTHz過渡電磁波の輝度は従来の熱的放射源の輝度を超えるものであり、ゲート制御された検出の感度はボロメータを用いたTHzによる感度よりも数桁高い。

【0012】新材料の特性特定及び基礎物理現象の調査研究が進む以上に、THz分光学及びイメージングを活

用できる多くの潜在的用途についての理解が高まりつつある【文獻:Nuss, IEEE Circuits and Devices, March 1996, pp. 25-30】。有望な用途としては、工業品質管理及びプロセス制御、パッケージ検査、水分分析、汚染測定、化学分析、ウエハ特性特定、遠隔探査、及び環境探査がある。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】しかし、これらの用途の開発を成功させるためには、重要な構成要素の1つとして、THz分光学手法を実現できるように高い効率及び高い信頼性で動作可能な光システム(光学系)が必要である。上記の用途に対しては、特に、まずTHz信号を、平行なそして回折が限度以内に限定されるビーム(限定回折ビーム)にコリメートし、次に、可能な最高の空間解像度を得るために、これらのTHzビームを、回折が限度以内に限定される(限定回折)集束点(スポット)上に集束することのできる光学配置が必要であることを、本発明者は確認した。

【0014】可視光用に設計された光システムの場合と異なり、THz電磁信号の波長は、用いられる光素子のサイズに比べて無視できず、又回折効果は光の伝播を左右することが得る。したがって、光システムの設計が混乱する。更に、THz光ビームシステムは、THz信号によってカバーされる100GHzよりも下から5THzよりも上までの広い周波数範囲にわたって動作する必要がある。

【0015】本発明によれば、従来の技術において用いられる光システムの制約を克服することができる【文獻:Van Exter et al., IEEE Trans. Microw. Theor. Techn., vol. 38, 1684-1691, 1990】。

【0016】この場合の制約とは、例えば、ビーム直径が周波数に無関係で、より長い距離にわたって伝播できる、平行な限定回折ビームを生成できないこと、波面の湾曲のない平行ビームを得ることができないこと【文獻:Cheville et al., Appl. Phys. Lett., vol. 67, 1960-1962 (1995)】、基板レンズにおける総内部反射による光損失があること【文獻:Jepsen & Keiding, Opt. Lett., vol. 20, 807-809, 1995】、及び広帯域のTHz電磁放射を、限定回折集束スポット上へ集束できないことである。

【0017】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、上記の課題を解決するための手段は、改善された処理能力と、光ビーム性能と、空間解像度とを有する光システムであり、同システムにおいては、THz分光学、THzイメージング、及びその他の調査手段に有用な電磁放射を、高効率な手法で、例えば伝光導ダイオールアンテナのようなTHz電磁放射の受信装置へそして同装置から(すなわち同装置との間を)指向性を持たせて結合することができる【文獻:Smith et al., IEEE J. Quantum Elect.

r., vol 24, 255-260, 1988】。

【0018】本発明の実施例に基づいて構築された光システムは、100GHz～20THzの周波数範囲において輻射波を放射するための発射源と；同発射源によって放射された輻射波を自由空間内へ結合するための結合用レンズ構造であって、結合輻射波の波長が同結合用レンズ構造の出口ひきみ(exit pupil)におけるビーム直径の1/100より大きいような、結合用レンズ構造とからなる。

【0019】同光システムは更に、受信された結合輻射波を、ビーム直径が周波数にはほぼ無関係であり且つ波面の湾曲がほぼないビームにコリメートするための少なくとも1個のコリメート用光学素子と；同少なくとも1個のコリメート用光学素子によってコリメートされたビームを抽出するための抽出器と；からなる。

【0020】本発明の別の実施例に基づいて構築された光システムは、100GHz～20THzの周波数範囲において輻射波を放射するための発射源と；同発射源によって放射された輻射波を自由空間内へ結合するための第1の結合用レンズ構造と；受信された結合輻射波を、限定回折集束スポット上へ集束させるための、少なくとも1個の光学素子と；同少なくとも1個の光学素子によって集束された輻射波を抽出するための抽出器と；からなる。

【0021】

【発明の実施の形態】図1に、本発明の実施例に基づく、THz（テラヘルツ）ビームを回折限度まで集束できる光学子配置10を示す。説明の便宜上、光学子配置10は米国特許出願第08/388,933 (Title: "Method and Apparatus for Terahertz Imaging") に開示されている種類のイメージング装置に用いられた状態を示す。しかし、本発明に基づいて構築されたレンズ配置が、例えば透過探索、照準、及び組成分析等を含むより広範囲の用途に適用可能であることは、この分野の当業者には容易に理解できることである。

【0022】いずれにせよ、図1のイメージング装置12は、時間長さ $f_s$ （フェムト秒）の繰り返し光パルスの発射源14（ $f_s$ レーザ）と、THz輻射波を生成して、対象物16のような調査対象の媒質に指向し、この媒質を通して透過され又はこの媒質によって反射された輻射波を抽出する光学子配置10と、概して符号18で示す分析回路とからなる。

【0023】発射源14は例えば800nmに近い波長及び一般的に約100MHzのバースレートで速度を有するTi:サファイヤレーザのような固体レーザとして構成してもよい。又代わりに、発射源14を、1.5 $\mu$ mに近い波長で動作する、時間長さ $f_s$ のEr:添加ファイバレーザ（ $f_s$ レーザ）として構成してもよい。

【0024】図1に示す実施例において、光学子配置10は、光学的にゲート制御されるTHz波送信器20と

光学的にゲート制御されるTHz波検出器22とからなる。コンピュータ27に制御されて可変の光遅延回路26が各ゲート処理パルス間の光遅延を変化させる。

【0025】推奨実施例において、送信器20及び受信器22は光伝導スイッチとして構成され、半導体基板表面上に付着させた送信回路構造内（ギャップ）を架橋する半導体からなる。光伝導スイッチの製作に用いられる材料は、用いられる発射源の動作波長によって定まる。

【0026】約800nmより短い波長で動作する $f_s$ レーザに関連して用いられる光伝導スイッチに適した材料は、例えば放射線損傷させたシリコン・オン・サファイヤ（RD-SOS）、GaAs、及び低温成長させたGaAs（LT-GaAs）がある。1.5 $\mu$ mに近い波長で動作するレーザと共に用いられる光伝導スイッチの製作に適した材料の他の例として、低温成長させたInGaAs又はInGaAs/InAlAs量子井戸が挙げられる【文獻:Takahashi et al., Appl. Phys. Lett., Vol. 65 pp.1790-1792(1994)】。

【0027】この配置の動作を説明すると、送信器において、光伝導スイッチに電圧がかけられる。光パルスによる光キャリアの注入後、スイッチを通る電流が非常に急速に上昇し、それから半導体のキャリア寿命によって与えられる時間定数で減衰する。過渡電流がマクスウエル式の式に基づいて自由空間内への放射を行う。検出器において、電流増幅器（又はアンプレク）が電圧バイアスを置換する。

【0028】入射THzパルスの電界によって、光キャリアの駆動フィールド（場）が得られる。THzフィールドと光キャリアとの両方が存在する場合にのみ電流がスイッチを流れる。電子的手法ではTHz過渡電流を直接に測定するのに必要な速さがないので繰り返し光伝導サンプリング手法が用いられる。もし光キャリアの寿命 $\tau$ がTHzパルスよりも速かに短い場合には、光伝導スイッチがサンプリングゲートとして作用し、時間 $\tau$ 以内でTHzフィールドのサンプリングを行う。

【0029】送信器を起動させ検出器をゲート制御するレーザパルスが同じ発射源から発せられるので、THz過渡電流の全体は、可変の光遅延回路26を用いてミッピングでき、これによって光伝導ゲートがTHz波面全体にわたって移動する。

【0030】図1に示す本発明の実施例においては、THz波送信器20と受信器22（検出器とも称する）とが、輻射波を発射源から検出器へ導く且つ輻射波を潜在的に小さいサンプル上の限定回折集束スポットへ集束するイメージング素子と共に光学子配置10に組み込まれる。図2に、送信器20及び検出器22の両方の構構に用いられる光伝導ダイポールアンテナ構造を示す。ここでは、検出器22の場合についてのみ具体的に述べる。

【0031】検出器22はダイポールアンテナ28から



なり、ダイポールアンテナ28は、光伝導材料の基板30上に形成される1対のダイポール給電線28a及び28b、並びにオプションとして1対のダイポール腕部29a及び29bからなる。

【0032】基板30は、図2においては放射線処理したシリコン・オン・サファイヤ構造(RD-SOS)からなる。2個のダイポール腕部の各々の合計寸法は一般に100~200 $\mu$ mの範囲にあり、これらの腕部の間には例えば約5 $\mu$ mの幅の間隙が延びる。アンテナ形成後、一般に0.6 $\mu$ m台の厚さのシリコン層が、ダイポール直下の100 $\times$ 100平方 $\mu$ mの区域を除いてエッチングにより除去される。この構成によりアンテナの暗抵抗が増加し、検出器に対する雑音源となり得る暗電流が減少する。

【0033】暗がりでは、ダイポールアンテナの光伝導間隙32は非常に高抵抗(約20M $\Omega$ )である。レーザパルスによるキャリアの注入でこの抵抗は500 $\Omega$ よりも低い値まで低下する。光キャリアの寿命中、受信されたTHz電界の振幅に比例する電流が流れる。下で述べるように、この電流は、アンテナの給電線に接続された電流増幅器34によって電圧に変換される。基板レンズ36が自由空間からの入射THz輻射波をダイポールアンテナ内へ結合する。

【0034】基板レンズ36は、本発明の光素子配置10に用いられる送信器及び受信器両方のダイポールアンテナの重要な構成要素である。この基板レンズがなければ、自由空間内への結合が、基板表面間のスラブモードの励起によって制限される。又、基板レンズによって、放射された電磁輻射波のコリメート処理の程度が進む。加えて、このレンズは、ダイポールアンテナの効率を上げるように作用し、このことによってその効率が増加する。

【0035】好ましくは、符号36の基板レンズの誘電率をその下の基板30の誘電率に一致させることにより、基板とレンズとのインタフェース部における反射を最小にできる。GaAs、サファイヤ、及びシリコンの基板の場合、高抵抗のシリコンレンズが特に望ましい。その理由は、高抵抗のシリコンは、THz輻射波の吸収が少なく、屈折率が周波数と無関係であり、立方晶構造を有し、切断及び研磨が容易だからである。

【0036】考え得る3種類の基板レンズ形状を図3(A)~(C)にそれぞれ示す。図3(A)においては、ダイポールアンテナ(図示せず)が在来のように基板30'の第1の表面31aに設置される一方、基板レンズ36'が基板の第2の表面31bに取り付けられる。レンズのサイズは直径にして2~10mm台である。

【0037】従来の技術で用いられる在来の設計(図3(A))においては、ダイポールアンテナを有する発光源(ダイポール発光源、又は簡単に、ダイポール)がレ

ンズの焦点fに設置され、全ての光線が基板に対して直角の入射角でレンズから出る。例えば文献(van Exter; Grischkowsky, IEEE Microw. Theor. Techn., vol.38, 1648-1691, (1990))を参照されたい。

【0038】この設計において、レンズはレンズ先端Tから距離hの位置で切断される。hは次式で与えられる。

$$h = r(n_1/(n_1 - 1)) - (n_1/n_2)d$$

ここに、rは球形基板レンズの半径、 $n_1$ はレンズ指数(屈折率)、 $n_2$ は基板指数(屈折率)、dは基板の厚さである。

【0039】基板のレンズと輻射波送信媒体である空気とのインタフェース部でのビームの出口ひとみす法pが小さいので、回折効果によってTHzビームのコリメート処理が妨害され、結果として、より長い距離にわたってビームを、顕著な光拡散及び波面湾曲を生じさせることなく伝搬することができず、THzビームを、従来の技術において仮定されたような平行な限定回折ビームにコリメートすることは現実的に不可能である。

【0040】しかし、本発明者は、輻射波の発光源が理想に近い点源であることから、別のレンズ形状を用いることにより、ビーム直径が周波数に依存し波面の湾曲がなくなしくも限定回折サイズのスポット上に集束することが可能であるような、平行な限定回折ビームが得られることを認識した。

【0041】加えて、本発明者は、図3(A)のレンズ形状において、輻射波が発射される発射円錐角が、レンズと自由空間とのインタフェース部における内部全反射の角度によって限定されるという不具合があることも認識した。図3(A)のレンズ形状に対する最大円錐角は次式で与えられる。

$$\sin \theta = (n - 1)/(n^2 - 2n)$$

ここに、 $\theta$ は円錐角の半分(半円錐角)、nは基板レンズの屈折率である。

【0042】例えば屈折率3.42のシリコンレンズに対する半円錐角は約30度である。光伝導ダイポールから放射される輻射波の半円錐角は上記で導出される角度よりも一般に大きいので(例えば45度)、ダイポールから放射される光の顕著な部分が内部全反射によって失われることになる。

【0043】ビーム直径が周波数にほぼ無関係であり空間解像度が改善された、ほぼ平行なビームを、後に述べる仕方を得るのに用いられる、本発明に基づく基板レンズの形状は、図3(B)に示すような半球形に設計される。基板レンズと空気とのインタフェース部においては屈折が生じないので、内部全反射に対する境界角が存在せず、したがってレンズの出口ひとみにおいて回折効果は生じない。

【0044】この半球形レンズの設計仕様は基板レンズ36'の中心Cがダイポールアンテナ(図示せず)の位

置にあるように定められる。基板の厚さを含めるため基板レンズはレンズの先端Tから、次式で与えられる距離hの位置で切断される。

$$h = r - (n_1/n_2)d$$

【0045】本発明に基づく特に推奨される基板レンズの形状は、無球面収差の超半球形の形状であって、これを図3(C)に示す。この図3(C)の基板レンズの形状は、例えばレンズ及び又は鏡の配置と組み合わせて、THzビームを、波長寸法(例、300μm台)に匹敵する寸法の限定回折スポットへ集束するのに用いられる。半球形の設計と同様に、この設計は球面収差すなわちコマ収差がなく、シリコンをレンズ材料として用いる場合には色分散がない。

【0046】基板レンズは、レンズの先端Tから、次式で与えられる距離hの位置で切断される。

$$h = r \{ 1 + (1/n_1) \} - d \{ (n_1 - n_2)/n_2 \} - 1$$

ここに、rは基板レンズの半径、 $n_1$  及び  $n_2$  はそれぞれ基板レンズ36'' 及び基板30'' の有効屈折率である。

【0047】図3(B)の半球形設計と対照的に、図3(C)の無球面収差で超半球形のレンズ形状ではビームが僅かにコリメートされるので、このレンズ以外の残りの光システムをより高いfナンバーの光学系で設計することが可能となる。この図3(C)の形状においては、レンズと自由空間とのインタフェース部での内部全反射の臨界角鈍角が十分大きいので、光伝導ダイポールアンテナによって放射されたTHz輻射波のほぼ全てを自由空間へ結合することができる。

【0048】上記の半球形及び超半球形のレンズ形状の有用性を示す種々の実現例を、種々の光素子配置と組み合わせる場合について次に個別に詳述する。図4～図7は、図3(B)及び(C)の本発明に基づく新規の基板レンズ形状と組み合わせる用いられる種々の配置を示す。尚、これら種々の配置は例示を目的に提示したに過ぎず、いずれの基板レンズ形状も、例示のどの配置にも使用できる。

【0049】本発明に基づき例えば、放物面の鏡(又はレンズ)が、送信(すなわち、発射)されたTHz輻射波を、対象周波数範囲(すなわち、100GHz～5THz)の波長又は周波数に顕著には依存しないビーム直径を有するほぼ平行なビームにコリメートするのに用いられる。光集束面の鏡(又はレンズ)が、このようにコリメートされた平行ビームを、光システムの中心にある限定回折スポットへ集束するのに用いられる。レンズと鏡との対称的配置が、THz輻射波を検出器上へ効率よく集束するのに用いられる。

【0050】図4(A)は、図3(B)の無球面収差で半球形の基板レンズ形状又は図3(C)の無球面収差で超半球形の基板レンズ形状を用いてTHz輻射波のコリメートされたビームを生成する。本発明に基づいて構築

された光配置例を示す。本発明に基づき、ビームBが、少なくとも1個の光素子(例示では単一のレンズ41)によって、ビーム直径が周波数にはほぼ無関係であり波面の湾曲がほぼない状態でより長い距離にわたって伝播できる平行な限定回折ビームにコリメートされる。

【0051】尚これに関しても、波面の湾曲がなくビーム直径が周波数に完全に依存するようなコリメートされたビームは、図3(B)の無球面収差の半球形構成によってのみ得られる。一方、図3(C)の構成でのみ、ビーム直径が周波数にほぼ無関係であり且つ波面の湾曲がほぼないビームが得られる。THzビームをコリメート及び/又は集束するのに要する光素子の開口数は、図3(B)の形状に対しては、より大きくく必要があるので、概して、無球面収差で超半球形の形状を用いるのがより実際的であろう。

【0052】図4(B)に、図3(B)の無球面収差で半球形の基板レンズ形状又は図3(C)の無球面収差で超半球形の基板レンズ形状を用いてTHz輻射波のコリメートされたビームを生成し、このビームのうち調査対象の媒質(概して符号Mで示す)を通して透過された部分を検出する。本発明に基づいて構築された光配置例を示す。図4(B)に示す配置においては、軸心から外れた(すなわち偏心の)放物面鏡40、42が、送信器20から受信されたTHz輻射波をコリメートし、コリメートされた輻射波を受信器22上へ集束するのに用いられる。

【0053】例示により説明すると、超半球形基板レンズから放出される輻射波の全放射角すなわち円鈍角は約30度である。焦点距離6.6cmの偏心放物面鏡を用いて、遠赤外線輻射波を、直径約25mmの平行な限定回折ビームにコリメートすることができる。

【0054】このようなコリメートされたビームは、ビーム直径が周波数にほぼ無関係で、ビーム直径にわたって均質でない対象物又は媒質のスペクトル分析に特に有用である。又この形状によれば、コリメートされたビームを回折による輻射波の損失なしに長い距離(少なくとも数m)にわたって伝播させることが可能になる。

【0055】これと対照的に、図3(A)の基板レンズ形状を用いた従来の技術による構成では、放物面鏡40及び42の間隔がその焦点距離の2倍であるときのみ、最適な結合効率を得られる。上記の例では、この放物面鏡の間隔は13.2cmになる。

【0056】従来の技術による構成の別の欠点は、波面の湾曲がなければTHzビームが伝播できないことである。例えば文献(Cheville 8; Grischkowsky, Appl. Physics Lett., vol 67, 1960-1962 (1990))を参照されたい。波面の湾曲のないビームを得ることは、例えば照準及び時間領域反射率測定法におけるような、透過又は反射されたTHz輻射波のタイミング解析に重要である。

【0057】尚、放物面鏡は位置合わせが少し難しい

が、THz 輻射波の全範囲にわたって高い反射力と色収差補正動作とが得られる。代わりに、1THz よりも低い周波数では溶融石英レンズをしても最高10THz まではシリコンレンズを用いるようにしてもよい。しかし、可視レーザービームを用いる溶融石英レンズの位置合わせは、屈折率が可視周波数とTHz周波数とで非常に異なるので実地的なこととを注記したい。

【0058】他の有用レンズ材料としてはTPX (poly-4-methyl-pentene-1) がある。これは一種のポリマーで、THz 輻射波周波数の全範囲にわたって吸収率及び分散率が低い。柔らかいので研削が少し困難である。

【0059】図5は、調査対象の媒質Mから反射された後のTHz 輻射波を検出するように設計された本発明の別の実施例に基づく光素子配置を示す。図5において、集束用のレンズ4'が、送信器20を出たビームを、コメントされた領域においてビーム直径が周波数にはほぼ無関係であり且つ波面の湾曲がほぼないビーム、にコリメートする。反射された部分のビームは、第2の集束用のレンズ4''によって検出器22内へ結合される。

【0060】尚、反射方式の配置が図5に示されているが、それぞれの構成要素を適切に配置することにより、この配置を、透過による分析用に再構成することが容易に理解されよう。

【0061】図6の配置においては、発射されたTHzビームが送信器20の基板レンズから送出され、ビーム直径が周波数にはほぼ無関係であり且つ波面の湾曲がほぼないビーム、に放物面鏡44''によってコリメートされる。図6に示すように、集束用レンズ48、又は代わりに別の偏心放物面（図示せず）を挿入することにより、ビームは更に、1THz のビーム周波数において1mmより小さい直径の限定回折スポット上へ集束される。

【0062】それから、例えばレンズ50と放物面鏡46''とからなる同様な光素子配置が、送信され集束された輻射波を集光受信器22上へ集束する。この配置では、調査対象の媒質（図示せず）に限定回折集束スポットが得られ、これは、可能最高の集束スポットとなる。このような小サイズのスポット上へ集束できる能力を、例えば高解像度イメージング用途（例：Nuss, IEEE Circuits and Devices, March 1996, pp.25-30）に、あるいは小サイズの物体の調査に用いることができるので有利である。

【0063】広帯域THzイメージングにおいて、限定回折スポットのサイズは輻射波の波長に反比例する。したがって、THzパルスの高周波数部分の内容容選択的に処理することにより、より高い空間解像度を得られる。

【0064】図7は、送信器20と検出器22との間の光素子配置を変えた別の配置を示す。発射されたTHz輻射波が送信器20の基板レンズから送出され、レンズ48'のような少なくとも1個の光素子によって受信され、対象物又は媒質M上又は内の限定回折スポット上へ

集束される。次に、対象物又は媒質から反射された輻射波が、レンズ50'のような第2の光素子によって集光され受信器22上へ集束される。

【0065】尚又、与えられた用途に適した仕方ではTHz 輻射波をコリメート及び/又は集束するために必要であれば何個の光素子を用いてもよい。更に、上記の実例全てにわたって対称的配置が示されているが、光素子の非対称的配置も利用可能であることは、この分野の当業者には容易に確認できよう。

【0066】以上の説明は、本発明の一実施例に関するもので、この技術分野の当業者であれば、本発明の種々の変形例を考え得るが、それらはいずれも本発明の技術的範囲に含まれる。

【0067】

【発明の効果】以上述べたごとく、本発明によれば、従来の技術において用いられる光システムの、THz 輻射波取り扱いに際しての制約を克服することができる。すなわち、ビーム直径が周波数に無関係で、より長い距離にわたって伝搬できる平行な限定回折ビーム、を生成でき、波面の湾曲のない平行ビームを得ることができる。基板レンズにおける内部反射による光損失を防止できる。又、広帯域のTHz 輻射波を、限定回折集束スポット上へ集束できる。

【0068】したがって、空間解像度が改善され、THz分光学及びその他の調査手順に有用なTHz 輻射波信号を効率的に処理できる光システムが得られる。その結果、THz分光学及びイメージング等の手法が実現可能となり、これら手法の潜在用途である工業品質管理及プロセス制御、パッケージ検査、水分分析、汚染測定、化学分析、ウエハ特性特定、遠隔検査及び環境検査等の発展が期待される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例に基づく光素子の配置を、限定回折スポット上へ集束されたTHz 輻射波を用いるイメージング装置に使用された場合について示す。

【図2】図1の実施例に用いられる光伝導ダイポールアンテナ検出器構造の斜視図である。このアンテナ構造は送信器と構造面で類似する。

【図3】図2に示すようなダイポールアンテナ構造に関連して用いられる3種類の基板レンズの概略図で、図3(A)は、従来の技術によって一般に用いられる通常の基板レンズ、図3(B)は、本発明に基づき構築された光学配置に用いられる一基板レンズ、図3(C)は、本発明に基づき構築された光学配置に用いられる別の基板レンズ、をそれぞれ示す。

【図4】本発明に基づき構築されて、THz 輻射波を処理するように作動する光学配置の概略図である。これらのうち、図4(A)は、図3(B)又は図3(C)の形状の基板レンズによって自由空間内へ結合された直接のTHz 輻射波を、ビーム直径が周波数にはほぼ無関係であ

り波面の湾曲がほほい状態であり長い距離にわたって伝搬できる平行な限定回折ビーム、にコリメートするように作動する光学配置を示す。図4(B)は、コリメートされたTHz輻射波ビームを調査対象の媒質に指向するように作動する光学配置を示す。この場合、この輻射波ビームのうちこの媒質を通して透過された輻射波ビーム部分が次に検出処理にかけられるように構成される。

【図5】図5は、図4(B)と同様に、本発明に基づき構築されて、THz輻射波を処理するように作動する光学配置の概略図であり、コリメートされたTHz輻射波ビームを調査対象の媒質に指向するように作動する光学配置を示す。この場合、この輻射波ビームのうちこの媒質によって反射された輻射波ビーム部分が次に検出処理にかけられるように構成される。

【図6】本発明に基づき構築されTHz輻射波を処理するように作動する別の光学配置の概略図で、図3(B)又は図3(C)の形状の基板レンズによって自由空間内へ結合されたTHz輻射波を、調査対象の媒質における、限定回折スポット上へ集束するように作動する光学配置を示す。この場合この輻射波ビームのうちこの媒質を通して透過された部分が次に検出処理にかけられるように構成される。

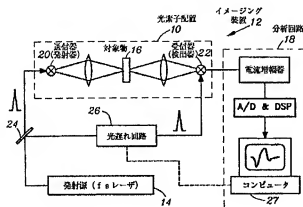
【図7】本発明に基づき構築されて、THz輻射波を処理するように作動する更に別の光学配置の概略図で、図3(B)又は図3(C)の形状の基板レンズによって自由空間内へ結合されたTHz輻射波を、調査対象の媒質における、限定回折スポット上へ集束するように作動する光学配置を示す。この場合この輻射波ビームのうちこ

の媒質によって反射された部分が次に検出処理にかけられるように構成される。

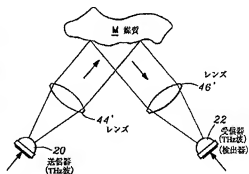
【符号の説明】

- 10、10' 光素子配置
- 12 イメージング装置
- 14 発射源 (f s レーザ)
- 16 対象物
- 18 分析回路
- 20 THz波送信器 (発射器)
- 22 THz波検出器 (受信器)
- 26 光遅れ回路
- 27 コンピュータ
- 28 ダイポールアンテナ
- 28a、28b ダイポール給電線
- 29a、29b ダイポール腕部
- 30、30'、30''、30''' 基板
- 31a (基板)の第1の表面
- 31b (基板)の第2の表面
- 32 間隙
- 34 電流増幅器
- 36、36'、36''、36''' 基板レンズ
- 40、42、44'、46' 放物面鏡
- 41 単一のレンズ
- 44' レンズ
- 46' レンズ
- 48 集束用レンズ
- 48'、50、50' レンズ

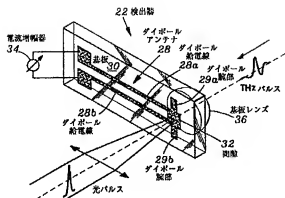
【図1】



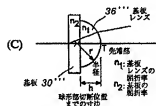
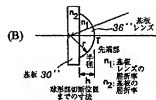
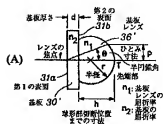
【図5】



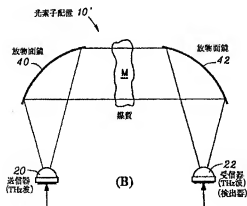
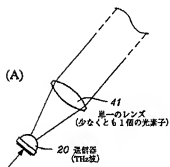
【図2】



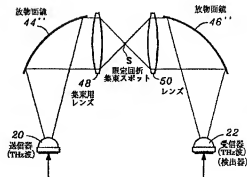
【図3】



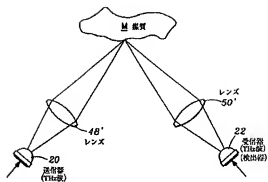
【図4】



【図6】



【図7】




---

フロントページの続き

(71)出願人 596077259  
 600 Mountain Avenue,  
 Murray Hill, New Je  
 rsey 07974-0636 U. S. A.